

Eetu Lehtonen

Kotitalousvalaisimien vaikutus sähkön laatuun

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014

KOTITALOUSVALAISIMIEN VAIKUTUS SÄHKÖN LAATUUN

Lehtonen Eetu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Elokuu 2014
Ohjaaja: Lehtio Ari
Sivumäärä: 34
Liitteitä: -

Asiasanat: sähkön laatu, yliaallot, valonlähteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia yleisimpiä kotitalousvalaisimia ja niiden vaikutusta sähkön laatuun sekä verrata niitä suosituksiin ja standardointeihin. Opinnäytetyössä tutkittiin kotitalousvalaisimien virtoja, tehoja, loistehoja, näennäistehoja, yliaaltosisältöjä, tehokertoimia ja huippukertoimia.

Mittaukset suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa. Mittausten tavoitteena oli saada vertailukelpoisia tuloksia kotitalouksien yleisimmistä valaisimista. Mittausten perusteella vertailtiin eri valaisimien vaikutusta sähkön laatuun.

Teoria ja mittaukset osoittivat, että uudentyypiset valaisimet säästävät energiaa, mutta aiheuttavat yliaaltoja ja loistehoja jakeluverkkoon. Tutkittavana olleista valaisimista kolme ylitti standardin asettamia raja-arvoja.

HOUSEHOLD LIGHTING EFFECT ON THE QUALITY OF ELECTRICITY

Lehtonen Eetu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in electrical engineering

August 2014

Supervisor: Lehtio Ari

Number of pages: 34

Appendices: -

Keywords: quality of electricity, harmonics, light sources

The purpose of this thesis was to explore the most common household lights and their effect on quality of electricity and to compare them to recommendations and standards. In this thesis, currents, powers, reactive powers, harmonics, power factors, and crest factors of the most common household lights were explored.

The measurements were performed in the electrical laboratory of Satakunta University of Applied Sciences. The goal of the measurements was to obtain comparable results of the most common household lights.

Theory and measurements indicated that modern lights save energy but they cause harmonics and reactive power to the distribution network. From the lights that were studied three exceeded the limits of the standard.

SISÄLLYS

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO.....	7
2 LOISTELAMPUT.....	7
2.1 Loisteputki	7
2.1.1 Yleistä	7
2.1.2 Käyttö	8
2.2 Energiansäästölamppu	9
2.2.1 Yleistä	9
2.2.2 Käyttö	10
3 HALOGEENILAMPPU.....	10
3.1 Yleistä	10
3.2 Käyttö.....	11
4 LED	12
4.1 Yleistä	12
4.2 Käyttö.....	12
5 SÄÄDETTY VALAISIN	13
6 VALAISIMIA KOSKEVAT STANDARDIT	13
6.1 Yleistä	13
6.2 SFS-EN 50160	14
6.3 EN 61000-3-2.....	14
7 SÄHKÖN LAATUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	15
7.1 Loisteho.....	15
7.1.1 Yleistä	15
7.1.2 Kompensointi	16
7.2 Yliaallot.....	17
7.2.1 Yleistä	17
7.2.2 Torjunta	18
8 MITTAUKSET	19
8.1 Mittausten suorittaminen	19
8.2 Vaikutukset suojalaitteisiin.....	20
8.3 Loisteputkivalaisin.....	20
8.4 Energiansäästölamppu	22
8.5 Verkkajännitteellä toimiva halogeenilamppu	24
8.6 Alennetulla jännitteellä toimiva halogeenilamppu	25
8.7 Verkkajännitteellä toimiva led lamppu.....	27
8.8 Alennetulla jännitteellä toimiva led lamppu	28

8.9 Säädetävän valaisin.....	30
9 YHTEENVETO	31
LÄHTEET.....	34

LYHENTEET

P	Teho
Qc	Kapasitiivinen loisteho
S	Näennäisteho
D	Säröloisteho
I	Virta
U	Jännite
PF	Kokonaistehokerroin
CFu	Jännitteen huippukerroin
CFi	Virran huippukerroin
THDf	Kokonaissärö
W	Watti
Var	Vari
VA	Volttiampeeri
A	Ampeeri
V	Voltti
Hz	Hertsi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin yleisimpien kotitaloudessa käytettyjen valaisimien vaikutusta sähkön laatuun. Tutkittavia valaisimia olivat verkkojännitteellä (230 voltia) toimivat loisteputki, energiansäästölamppu, led lamppu ja halogeenilamppu sekä himmennettävä valaisin. Lisäksi tutkittiin alennetulla jännitteellä (12 voltia) toimivaa led- ja halogeenilamppua. Valaisin vaihtoehtoja on kotitalouksille tarjolla valtavasti, joista pitäisi valita tietysti paras. Asia ei ole kuitenkaan aivan yksinkertainen, sillä jokaisella valaisimella on hyvät ja huonot puolensa. On muistettava se, että lopullinen päätös on kuluttajalla itsellään, eikä päätökseen välttämättä vaikuta energiankulutus, loisteho tai yliaallot, vaan esimerkiksi valaisimen muotoilu tai valaistusominaisuudet. Sähkölaitosten kannalta tilanne on huononemaan päin, koska hehkulamppuja ei ole saanut enää vähään aikaan ja suurin osa verkkojännitteellä toimivista halogeenilampuista poistuu parin vuoden kuluttua kaupoista. Jäljelle jäävät energiaa säästävät ja yliaalloja tuottavat sekä loistehoa kuluttavat lamput.

Sähkölaitokset joutunevat tekemään investointeja ja muutoksia sähköverkkoon uudentyypisten valaisinten takia. Sähkölaitos on vastuussa sähkön laadusta, johon kuuluu esimerkiksi yliaallojen pitäminen raja-arvojen alapuolella. Loistehon kompensointi taas on kuluttajan oma valinta. Tässä opinnäytetyössä tutkittu asioita, joista tavallisella kuluttajalla ei välttämättä ole tietoaakaan, joten toivottavasti tämä laajentaa näkökulmia valittaessa sopivaa valaisinta.

2 LOISTELAMPUT

2.1 Loisteputki

2.1.1 Yleistä

Vakiokokoiset isot loisteputket ovat teholtaan 58 wattia tai 36 wattia. On olemassa myös monia pienempitehoisia loisteputkia. Loistelamppujen etuina ovat muun

muassa hyvä valotehokkuus ja pitkä käyttöikä. Loisteputkessa virta kulkee elohopeahöyryssä, joka on matalapaineista. Tämän ansiosta elohopeahöyry tuottaa näkyvää valoa ja myöskin ultraviolettisäteilyä. Loisteputkessa on sisäpinnalla loisteainetta, joka saa aikaan sen, että ultraviolettisäteilykin muuttuu ihmissilmälle näkyväksi valoksi. Loisteaineen koostumus määrää valon värin. Loisteputki vaatii toimiakseen sekä sytytys- että liitäntälaitteen, jotka saattavat aiheuttaa valoon värinää. Lisäksi loisteputki vaatii myös virranrajoittimen, jonka ominaisuudet riippuvat käytetystä putkikoosta. Isot loistelamput eivät itsessään sisällä edellä mainittuja laitteita, vaan valaisimissa on jokaiselle putkelle oma kuristin eli virranrajoitin sekä sytytin. On olemassa myös sellaisia valaisimia, joissa sekä sytyttimen että kuristimen korvaa elektroniikka. Elektroniikalla varustettu loisteputki ei aiheuta valoon värinää ja putki on myös nopeampi syttymään. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

Yksikantaloistelampuiksi kutsutaan tavallisesti sellaista valaisinta, jossa on kaksi rinnakkain olevaa loisteputkea yhdistetty päistään. Markkinoilla on myös eri muotoihin taivutettuja yksikantaloistelamppuja. Yksikantaloistelamppujen tehot ovat normaalisti 8-24 watin väliltä. Vuosien myötä energiasäästölamppujen ja yksikantaloistelamppujen välinen raja on alkanut hämärtyä, koska selvempiä eroja niiden väliltä on hankala löytää. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

2.1.2 Käyttö

Loisteputket soveltuvat pitkän käyttöikänsä ansiosta erinomaisesti kotitalouskäyttöön. Loisteputken polttoaika saattaa olla jopa 15000 tuntia, jonka takia putkea voidaan käyttää kotitaloudessa vuosia ilman vaihtoa. Yleensä loisteputkea ei voida käyttää kuitenkaan polttoaikansa puolesta loppuun, koska valovirta putkessa alenee ajan kuluessa. Loisteputki, joka on ollut kauan käytössä kannattakin yleensä vaihtaa, vaikka se vielä olisikin toimintakuntoinen. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

Loppuunkulunut loisteputki on monelle varmasti tuttu tapaus, putki palaa vain himmeästi ja putken päät hieman hehkuvat. Mikäli sytytin on ehjä, yrittää se saada jatkuvasti lamppua syttymään, jonka takia lamppu vain välkkyä. Vikaantuneen loistevalaisimen syynä saattaa olla myös hajonnut sytytin, tällöin sytytin ei joko yritä lamppua syttymään, tai vain hehkuttaa loisteputken päitä. Sytytin suositellaankin vaihdettavaksi myös lampun vaihdon yhteydessä, koska se on melko edullinen laite. On myös huomioitava, että useissa sytyttimissä on lisänä laite, joka lopettaa loppuunkuluneen lampun sytyttämisyriytkset. Putken vaihdon yhteydessä pitää muistaa painaa sytyttimen laukaisunasta takaisin, mikäli se on lauennut, sillä muuten sytytin ei toimi. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

2.2 Energiänsäästölamppu

2.2.1 Yleistä

Energiänsäästölampulla tarkoitetaan pienoisloistelamppua. Energiänsäästölamppuksi kutsutaan pienoisloistelamppua, jossa on lampun sisälle rakennettu sytytinlaitteisto. Lisäksi energiänsäästölampussa on kierrekanta eli lamppulla voidaan korvata suoraan esimerkiksi hehkulamppu. Energiänsäästölamppujen sisällä kaasua ja elohopeaa, aivan kuten kaikissa muissakin loistelampuissa. Kaasussa tapahtuu sähköpurkauksia, johon valon syntyminen perustuu. (Lampputiedon www-sivut 2014)

Loistelampuissa elohopeapisara kaasuuntuu sähköpurkauksen vaikutuksesta, ja synnyttää valoa. Tämän takia energiänsäästölamput sisältävät elohopeaa, joka on otettava huomioon lampun kierrätyksessä. Loistelampuissa on myös muita kaasuja, jotka helpottavat syttymistä ja hillitsevät sähköpurkauksia. (Honkanen, 3)

2.2.2 Käyttö

Energiansäästölamput elinikä on noin kymmenkertainen hehkulamppuun verrattuna, lisäksi ne kuluttavat noin 75-80 % vähemmän energiaa kuin hehkulamput. Energiansäästölamppuja on markkinoilla moneen eri käyttötarkoitukseen, mutta parhaimmillaan ne ovat yleisvalaistuksessa, ja sellaisissa paikoissa, joissa tarvitaan valoa runsaasti. Energiansäästölamppuja ei välttämättä kannata käyttää esimerkiksi saunan valaistuksessa eikä sellaisissa kohteissa, joissa valoa sytytetään ja sammutetaan usein. (Lampputiedon www-sivut 2014)

Useimmat energiansäästölamput on tarkoitettu yleensä vain sisävalaistukseen, koska loistelamppujen valontuotto on riippuvainen ympäröivästä lämpötilasta, joten sisäkäyttöön tarkoitettujen energiansäästölamppujen valontuotto alhaisemmissa lämpötiloissa jää vaatimattomaksi. Energiansäästölamput ovat ulkokäytössä parhaimmillaan, mutta käyttöikä jää usein huomattavasti lyhyemmäksi. Käyttöikä on laskettu siten, että lamppu on sisäkäytössä päällä noin 3 tuntia vuorokaudessa, kun taas ulkovalaistuksessa lamppuja pidetään päällä noin 12 tuntia vuorokaudesta. Lisäksi vaihtelevat olosuhteet, kuten lämpötila ja kosteus, vaikuttavat myös lampun käyttöikään. Ulkovalaistuksessa on otettava huomioon lampun sisältämä elektroniikka, joten lamppu pitää suojata kosteudelta. (Lampputiedon www-sivut 2014)

3 HALOGEENILAMPPU

3.1 Yleistä

Halogeenilamppu muistuttaa pitkälti hehkulamppua, niin ominaisuuksiltaan kuin ulkonäöltäänkin. Halogeenilamppu kuluttaa kuitenkin noin 30% vähemmän energiaa kuin hehkulamppu. Lisäksi halogeenilampun elinikä on noin kaksinkertainen verrattuna perinteiseen hehkulamppuun. (Lampputiedon www-sivut 2014)

Halogeenilamput on suojakupu, joka on täytetty jodi- tai bromikaasulla, tämä mahdollistaa polttaa hehkulankaa kirkkaampana ja kuumempina kuin tavallisessa hehkulamput. Kuumasta hehkulangasta irtoaa wolframia, joka reagoi kuvun sisälle kaasuuntuneen halogeenin kanssa ja wolframi kiinnittyy takaisin hehkulankaan. Näin on mahdollista nostaa hehkulangan lämpötilaa korkeammaksi kuin tavallisessa hehkulamput. Hehkulangan ollessa kuumempi se antaa paremman valohyötysuhteen. Lasikuvun on oltava riittävän lämmin, jotta wolframin kiertoprosessi olisi mahdollista. Himmentäminen laskee kuvun lämpötilaa, jonka takia halogeenilamput elinikä lyhenee, koska wolframin kiertoprosessi estyy tai hidastuu. Hehkulamput tilanne on himmennuksen osalta täysin päinvastainen, eli himmentäminen nostaa hehkulamput käyttöikä. (Honkanen, 3)

3.2 Käyttö

Kierrekantaisia halogeenilamput, niin sanottuja halogeenihehkulamput, kannattaa käyttää sellaisissa kohteissa, joissa ledit tai energiansäästölamput eivät ole parhaimmillaan. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi himmennettävät valaisimet, sauna ja kristallikruunut. Halogeenilamput käytetään myös korostus- ja kohdevalaistukseen, joihin soveltuvat perinteiset halogeenipotit. (Lamputiedon www-sivut 2014)

Halogeenilamputakin monet poistuvat markkinoilta tulevaisuudessa EU-vaatimusten takia. Yli 60 watin verkkojännitteellä toimivia halogeenilamput ei enää ole markkinoilla, pienempitehoisistakin osa tulee poistumaan 1.9.2016. Halogeenilamput, jotka kuuluvat energialuokkaan B jäävät markkinoille, mutta halogeenilamput energialuokka on normaalisti C, joka tarkoittaa sitä, että suurin osa halogeenilamputista tulee poistumaan. Lisäksi markkinoille jää alle 22 watin ja alle 60 voltin R7s- ja G9 -kannoilla varustetut halogeenilamput. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

4 LED

4.1 Yleistä

Valodiodissa, eli ledissä, on PN- rajapinta, josta virta pääsee vain toiseen suuntaan. Kun virta kulkee ledin läpi rajapinnassa aukot ja elektronit törmäävät, jonka seurauksena atomit virittyvät, mikä taas saa aikaan sen, että energiaa vapautuu fotoneina eli valona. Ledin valo määräytyy käytetystä materiaalista, koska materiaalista riippuen fotoneilla on eri aallonpituus. Kehityksen myötä ledeistä on tullut oivallinen valonlähde, jotka ovat pitkäikäisiä, syttyvät heti, eivät sisällä elohopeaa, kestävät värinää sekä niiden valotehokkuus on hyvä. Huonoina puolina ledeillä on suuri loisteho, hinta sekä lämpötilän sietokyky. (Honkanen, 6-7)

4.2 Käyttö

Led lamppujen tuottama valoteho pienenee käyttöiän myötä. Käytännössä valotehon alenemisella ei ole suurtakaan merkitystä, koska lampun elektroniikkaa ei kestä läheskään yhtä kauan kuin valotehoa riittäisi. Normaali led lampun käyttöikä on noin 10000 tuntia, jolloin valoteho ei juurikaan ole pienentynyt, mutta elektroniikka ei välttämättä kestä. Arvioiden mukaan 50000 tunnin käytön jälkeen led lampussa on valotehoa vielä noin puolet alkuperäisestä. (Säköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

Led lamppuja on markkinoilla valtavat määrät erilaisia vaihtoehtoja, joka johtuu ainakin osaksi puutteellisesta standardoinnista. Yhdessä led-valaisimessa on yleensä usita ledejä, koska yhden ledin teho on normaalisti noin yksi watti. Kuluttajan kannalta helpommaksi asian on tehnyt se, että markkinoilta on saatavissa myös sellaisia led lamppuja, jotka sopivat muiden lamppujen tilalle, muun muassa hehkulamppu voidaan korvata led lampulla. (Säköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

5 SÄÄDETTY VALAISIN

Himmennin on laite, jolla voidaan säätää valon määrää helposti. Hehkulamppuja on perinteisesti käytetty himmentimen kanssa. Hehkulamppujen poistuttua markkinoilta, syksyllä 2012, voidaan ne korvata halogeenilampuilla. Himmenninkäytössä pitää muistaa, että halogeenilampun wolframin kierto edellyttää riittävän suuren kuvun lämpötilan. Tästä syystä halogeenilamppua tulisi välillä pitää täydellä teholla. Toinen vaihtoehto hehkulamppun korvaajaksi himmenninkäytössä on led lamppu. Led lamppujenkin säätöominaisuudet vaihtelevat, ja siksi yhteensopivuus pitää varmistaa asiantuntijalta. Mikäli himmentimellä korvataan tavallinen kytkin, pitää varmistaa ettei lamppujen sähköteho ylitä himmentimen suurinta sallittua arvoa. On olemassa myös elektronisia himmentimiä, jotka vaativat lampuilta tietyn vähimmäistehon toimiakseen. Jokainen valaisintyyppi vaatii omanlaisensa himmentimen toimiakseen oikein. (Säköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014)

6 VALAISIMIA KOSKEVAT STANDARDIT

6.1 Yleistä

Valaisimille on laadittu todella paljon standardeja, joista suurin osa käsittelee joko valaistusominaisuuksia tai turvallisuutta. Kyseiset standardit koskevat lähinnä valaisinvalmistajia, koska tavallinen kuluttaja voi normaalisti luottaa siihen, että kaupasta ostetut valaisimet ovat turvallisia. Lisäksi kuluttaja voi itse valita valaistusominaisuuksiltaan mieleisensä valaisimen, joten kuluttajan ei tarvitse perhetyä standardointeihin. Opinnäytetyössäni käsittelen valaisimien vaikutusta sähkön laatuun, joten suurin osa standardeista ei liity aiheeseeni kovinkaan läheisesti. On olemassa kuitenkin pari hyvää standardia, jotka asettavat selkeät raja-arvot työtäni ajatellen.

6.2 SFS-EN 50160

Tämä standardi sisältää paljon hyödyllistä tietoa sähkön laatuun liittyen, mutta vain pieni osa standardista koskee tässä opinnäytetyössäni käsittelemiäni asioita. Tässä standardissa on annettu raja-arvoja jännitteen yliaalloille.

Taulukko 1. Suurimmat sallitut harmoonisten yliaaltojännitteiden arvot perusaallosta prosentteina. 6.6.2014. (Sähkön laatu, 3)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Järjestysluku, n	THD %	Järjestysluku, n	THD %	Järjestysluku, n	THD %
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

6.3 EN 61000-3-2

Tämä standardi käsittelee virran harmoonisten yliaaltojen raja-arvoja, joita laitteiden ei tulisi ylittää. Standardi koskee vain pienjännitteiseen julkiseen vaihtosähköjakeluverkkoon liitettäviä laitteita, joiden virta vaihetta kohti on korkeintaan 16 ampeeria. Standardissa laitteet on jaettu neljään luokkaan A,B,C ja D, joista valaisimia koskee luokka C. Luokkaan C on annettu erikseen taulukoituja raja-arvoja valaisimille, joiden teho on suurempi kuin 25 wattia. 25 watin tai pienemmän ottotehon omaavilla valaisimilla on oma erillinen taulukkonsa sekä virran kolmas yliaalto ei saisi ylittää 86 prosenttia perusaallosta ja virran viides yliaalto ei saisi ylittää 61 prosenttia perusaallosta. (Harmonic current emissions 2010, 3, 6-7)

Taulukko 2. Suurimmat sallitut harmoonisten yliaaltovirtojen arvot perusaallosta prosentteina luokan C laitteille yli 25 W. 28.4.2014 (Harmonic current emissions 2010, 7)

Järjestysluku, n	Virran yliaalto % max
2	2
3	$30 \cdot \lambda$ *
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (vain parittomat)	3
	* λ on piirin tehokerroin

Taulukko 3. Suurin sallittu harmoonisen yliaaltovirran arvo wattia kohti (Harmonic current emissions 2010, 7)

Järjestysluku, n	Virran yliaalto mA/W max
3	3,4
5	1,9
7	1,0
9	0,5
11	0,35
$13 \leq n \leq 39$ (vain parittomat)	$3,85/n$

7 SÄHKÖN LAATUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

7.1 Loisteho

7.1.1 Yleistä

Monet sähköverkon kulutuslaitteet vaativat pätötehoa (P) sekä loistehoa (Q) toimiakseen. Kyseisiä laitteita ovat muun muassa muuntajat eräät lamput ja moottorit. Loisteho, jota laitteet tarvitsevat, otetaan joko sähköverkosta tai tuotetaan

kompensointilaitteistolla lähellä laitteita. Pääasiassa loistehoa sähköverkkoon tuottavat voimalaitosten generaattorit. (Loistehon kompensointi 2012, 5)

Sähköverkossa siirtyvä loisteho lisää muuntajien ja johtojen teho-, energia- ja jännitehäviöitä sekä lisäksi pätötehon siirtokyky alenee kaikissa käyttötilanteissa. Loistehon siirtäminen sähköverkossa aiheuttaa myös uus- tai vahvistusinvestointeihin. Kokonaistaloudellisesti usein on hyödyllisintä tuottaa kulutuslaitteen tarvitsemaa loistehoa lähellä kyseisiä laitteita. (Loistehon kompensointi 2012, 5)

7.1.2 Kompensointi

Fingrid Oyj:n, joka on kantaverkkoyhtiömme, pyrkimyksenä on vähentää loistehoa kantaverkossa hinnoittelun keinoin sekä kompensoinnin ohjaamista jakeluverkkoyhtiöiden pien- ja keskijänniteverkkoon. Loistehoylijäämä pitää pystyä kompensoimaan kaikissa kantaverkon käyttötilanteissa. Etenkin vikatilanteissa käyttövarmuus saattaa vaarantua kasvavien loistehohäviöiden takia. (Loistehon kompensointi 2012, 5)

Esimerkiksi Tampereen sähköverkko Oy:n kantaverkosta siirretystä loistehosta ilmaisosuus on enintään 16 % induktiivisesta loistehosta ja enintään 4 % kapasitiivisesta loistehosta verrattuna pätötehon arvoon. Jakeluverkkoyhtiönä Tampereen sähköverkko Oy pyrkii loistehomaksulla ohjaamaan loistehosta aiheutuvia kuluja niiden aiheuttajille ja toisaalta se ohjaa kuluttajia ostamaan kompensointilaitteistoja. (Loistehon kompensointi 2012, 5)

Sähkönkuluttajan kannalta kompensointitarve johtuu lähinnä loistehon hinnoittelusta, jonka määrää jakeluverkon haltija. Sähkönkuluttajalla loistehon siirto omassa sisäisessä sähköverkossa aiheuttaa samanlaisia haittoja kuin jakeluverkossakin. Jos tilannetta verrataan pelkkään pätötehon siirtoon, niin loistehon kasvu aiheuttaa mahdollisesti johtojen poikkipinta-alan suurentamistarpeen, häviöiden kasvun ja pääsulakkeen koon suurentamisen, joka johtaa perusmaksun ja liittymismaksun

hinnan nousuun. On hyvä muistaa, että liiallinen kompensointikaan ei ole hyväksi. Liiallinen kompensointi nimittäin johtaa sähköverkon tehokertoimen kapasitiivisuuteen. Sähköjohtojen kapasitanssi tuottaa myös itsessään loistehoa, joka on otettava huomioon erityisesti, jos kuormitustilanne on pieni. Edellisestä johtuen loistehon kompensointia on pystyttävä säätämään käyttötilanteen mukaan. Lisäksi vääranlaiset kompensointilaitteet voivat muuttaa merkittävästi yliaaltoilannetta resonanssien seurauksena. (Loistehon kompensointi 2012, 5)

7.2 Yliaallot

7.2.1 Yleistä

Yliaaltoja syntyy sähköjakeluverkkoon, kun jokin laite tai komponentti on jännitteen tai virran suhteen epälineaarinen. Näiden laitteiden verkosta ottama virta ei ole sinimuotoista. Epälineaaristen laitteiden aiheuttamat yliaallot ovat haitaksi sekä laitteelle itselleen että myös muille sähköverkon laitteille. (Korpinen, Mikkola, Keikko & Falck, 3)

Suuntaajakäytöt, jotka on toteutettu puolijohdetekniikalla aiheuttavat yliaaltoja. Kyseisiä suuntaajakäyttöjä on teollisuudessa, voimansiirrossa sekä liikenteessä. Kotitalouksissa käytetty elektroniikka, muun muassa TV, tietokoneet ja valonhimentimet, aiheuttavat myös yliaaltoja, etenkin usean laitteen yhtäaikaisten käyttö lisää yliaaltoja huomattavasti, koska yliaalloilla on taipumus summautua. (Korpinen, Mikkola, Keikko & Falck, 7 ja 9)

Tietokone sisältää runsaasti elektroniikkaa ja on siksi yksi pahimmista yliaalltolähteistä, jos asiaa tarkastellaan tavallisen sähkökuluttajan kannalta, eli ei oteta teollisuuden suuria laitteita huomioon. Tietokone toimii tasasähköllä, jota sille antaa yleensä hakkuriteholähde. Tasasähkö tuotetaan hakkuriteholähteessä tasasuuntaajan avulla, yleensä yhdestä vaiheesta. Näistä syistä tietokoneen ottama virta on hyvin epälineaarista sekä käynnistysvirtasysäykset ovat normaalisti huomattavasti suurempia kuin nimellisvirta. Tällainen virta, joka on pahasti

epälineaarinen sisältää runsaasti harmonisia komponentteja, mutta vain osan perusaaltoa. (Korpinen, Mikkola, Keikko & Falck, 11)

Yliaallot heikentävät sähkön laatua, kasvattavat jännitesäröä ja ylikuormittavat laitteita. Verkkoyhtiö on vastuussa jakelujännitteen laadusta, joten sen pitää pystyä kontrolloimaan virtasäröä sähkönkuluttajan liittämiskohdassa. Edellämainituista syistä yliaaltoja pyritään suodattamaan, jotta energiatehokkuus ja sähkön laatu paranisivat. (Loistehon kompensointi 2012, 1)

7.2.2 Torjunta

Yliaaltoja voidaan torjua kahdella tavalla, joko suodattamalla tai estää niiden syntyminen. Suuntaajat aiheuttavat eniten yliaaltoja, joten sen ohjauksella ja rakenteella voidaan vaikuttaa yliaaltojen syntymiseen. Suuntaajan valinta on yleensä kuitenkin riippuvainen taloudellisista ja teknisistä asioista, joten yleisempi vaihtoehto on suodattimien käyttö. Passiivinen suodatin, jota kutsutaan myös imupiiriksi, muodostaa tietyn taajuiselle yliaaltovirrälle sulkeutumistien, joka on pieni-impedanssinen. Passiivinen suodatin poistaa vain yhden yliaaltotaajuuden. On olemassa myös kahden ja kolmen kertaluvun suodattimia sekä laajakaista suodattimia, jotka poistavat enemmän yliaaltotaajuuksia. Aktiivisuodatin on puolestaan säätöominaisuuksin varustettu yliaaltovirtalähde, joka on toteutettu tehopuolijohteilla. Aktiivisuodatin tuottaa verkkoon yliaaltoja, jotka ovat verkon yliaaltoihin nähden vastakkaisessa vaiheessa, joten yliaallot kumoavat toisensa. Aktiivisuodatin on selvästi parempi kuin passiiviset suodattimet, koska yhdellä suodattimella pystytään suodattamaan useita yliaaltoja. Aktiivisuodatin on myös nopea ja on pienikokoinen sekä suodattaa tehokkaasti suuruudeltaan ja taajuudeltaan muuttuvia yliaaltoja. Suuret häviöt ja korkea hinta rajoittavat aktiivisuodattimien käyttöä. (Korpinen, Mikkola, Keikko & Falck, 32-35)

8 MITTAUKSET

8.1 Mittausten suorittaminen

Mittaukset suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa, jossa syöttö otettiin työpöydällä olevasta sähkötaulusta, vaiheen ja nollan väliltä. Mittauspaikkaa ei ollut erotettu muusta sähköverkosta, vaan se oli yhteydessä yleiseen jakeluverkkoon. Tästä syystä mittauspisteeseen on saattanut kulkeutua yliaaltoja muualtakin. Jakeluverkosta tulevat häiriöt eivät kuitenkaan aiheuttane juurikaan virheitä mittauksiini, koska sähkön laatu on mittauksilla todettu hyväksi kyseisessä sähkölaboratoriossa. Kaikki muut mittaukset, kytkentävirtaa lukuunottamatta, suoritettiin Fluke 434 -mittarilla, joka soveltui kohtuullisen hyvin tehtyihin mittauksiin. Fluke 434 pystyy näyttämään 40 ensimmäistä yliaaltoa, mutta työssäni tarkastelin lähinnä parittomia yliaaltoja aina yhdenteentoista kertalukuun asti. Lisäksi pientä huomiota kannattaa kiinnittää myös siihen, että kyseinen mittari on takoitettu lähinnä kolmivaiheisille laitteille, joiden mitatut arvot ovat yleensä selvästi suuremmat. Mielestäni 434:llä mitatut tulokset saatiin kuitenkin riittävällä tarkkuudella, mutta ei myöskään menty liian tarkkoihin arvoihin kokonaisuutta ajatellen.

KytKentävirtamittaus tehtiin Fluke 196C -mittarilla, jolla saadaan ”trigattua” eli liipastua kytkentätapahtuma halutusta arvosta alkaen, joten liipaisu ei tapahdu pienistä häiriöistä, kun asetetaan liipaisu tarpeeksi suureen arvoon. Useassa kytkentävirtakuvassa on virtapiikki ennen varsinaista lampun kytkentävirtakäyrää. Kyseinen virtapiikki on todennäköisesti kytkimen aiheuttama, koska virtapiikki on selvästi lyhyempikestoisempi kuin sen jälkeen tuleva käyrä osuus. Kytkimen aiheuttamaa virtapiikkiä on lähes mahdotonta saada pois kuvasta, koska virtapiikin arvo saattaa olla jopa suurempi kuin itse lampun kytkentävirrän arvo. Liipaisu arvoa ei näin ollen voida asettaa suuremmaksi, koska silloin lampun kytkentävirta jäisi pois kuvasta. Toisaalta mittausajan pidentäminen poistaisi kyseisen virtapiikin, koska silloin laite ei liipaisisi niin nopeita piikkejä. Ongelmana mittausajan pidentämisessä oli se, että lampujen kytkentävirtojen kesto on myöskin erittäin lyhyt. Mittausaikaa ei siis voitu pidentää, koska kuvassa olisi silloin näkynyt vain jokin parin ruudun

mittainen epämääräinen punainen viivakasa. Jokaista kytkentävirtamittausta varten kokeilin noin kymmentä eri asetusta, niin virta-arvon kuin ajankin suhteen. Suurimmalla osalla arvoista ei saatu tuloksia ollenkaan, eli laite ei edes liipaisut. Parilla arvolla kymmenestä laite yleensä suostui liipaisemaan, joista yksi oli yleensä selvästi selkein. Sopivat asetukset kullekin lampulle löydettyäni, tein jokaiselle lampulle useita päälle pois kytkentöjä, varmistaakseni kuvan sekä arvojen samanlaisuuden. Osassa kuvista olisin voinut siirtää nollatason alemmas, mutta halusin saada kuvista suunnilleen samanlaisia. Nollakohta on siis keskellä näyttöä, koska osassa kuvista virta menee myös negatiiviselle puolelle. On syytä muistaa, että kaikki osatekijät huomioiden kaikkia mittaustuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina.

8.2 Vaikutukset suojalaitteisiin

Sähkötaulua, josta syöttö otettiin, suojaa sekä pääkytkimen Q0 jälkeen oleva vikavirtasuoja F01 että Q2 jälkeen oleva C -tyypin 10 ampeerin johdonsuojakatkaisija F2. Mittausten aikana suojalaitteet eivät laenneet kertaakaan. Ainut mittausta, jossa suojat olisivat voineet mahdollisesti lauetta, oli kytkentävirtamittaus. Kyseisessä mittauksessa virta nousi korkeaksi, mutta kesto-aika oli todella lyhyt, joten suojalaitteet eivät ehtineet reagoida. Toisaalta lampuissa tai johdotuksissa olisi voinut ollut jotain vialla, jolloin suojalaitteet olisivat voineet myös lauetta. Onneksi mittaukset sujuivat ilman kyseisiä ongelmia.

8.3 Loisteputkivalaisin

Tutkittavana valaisimena oli nykyaikaisella elektronisella liitälaitteella varustettu loisteputkivalaisin, jossa oli kaksi Philipsin 36 watin loisteputkea. Hintaa kyseiselle valaisimelle kertyy kokonaisuudessaan noin 30 euroa. Mitatuista arvoista huomataan selvästi, että liitälaitte sisältää yliaaltosuodattimen sekä jonkinlaisen kompensointilaitteen. Energiansäästölamppu sisältää vain elektronisen sytyttimen, joka ei poista yliaaltoja tai loistehoa. Päinvastoin elektroninen sytytin aiheuttaa yliaaltoja ja kuluttaa loistehoa. Elektronisen sytyttimen sisältävää energiansäästölamppua voidaan verrata elektronisella liitälaitteella varustettuun

loisteputkivalaisimeen. Loisteputken teho on selvästi suurempi kuin energiansäästölampan, mutta suhteutettuna toisiinsa voidaan todeta yliaaltojen ja loistehon olevan energiansäästölampulla moninkertaiset.

Nykyaikainen elektroninen liitäntälaitte toimii jopa yli 30 kHz taajuudella. Liitäntälaitte korvaa kuristimen, syyttimen, häiriönpoistokondensaattorin ja kompensointikondensaattorin. Laitteella saavutetaan huomattavaa energiansäästöä, koska korkeammalla taajuudella saadaan valoa enemmän, mutta valoteho säilytetään vakiona. Valaisimen lämmöntuotto pienenee myös pienentyneen energiankulutuksen myötä. Loistelamppujen käyttöikä kasvaa noin neljänneksellä elektronisen liitäntälaitteen myötä. Liitäntälaitteella varustettu loistepuykivalaisin on myös hiljaisempi, tuottaa vähemmän häiriöitä ja syyttää lamput nopeammin kuin vanhemmat loisteputkivalaisimet, jotka eivät sisällä kyseistä liitäntälaitetta. Nykyään markkinoilla on myös ohjattavia elektronisia liitäntälaitteita, jotka mahdollistavat valon säätämisen. (Adluxin [www-sivut](http://www.adlux.com) 2014)

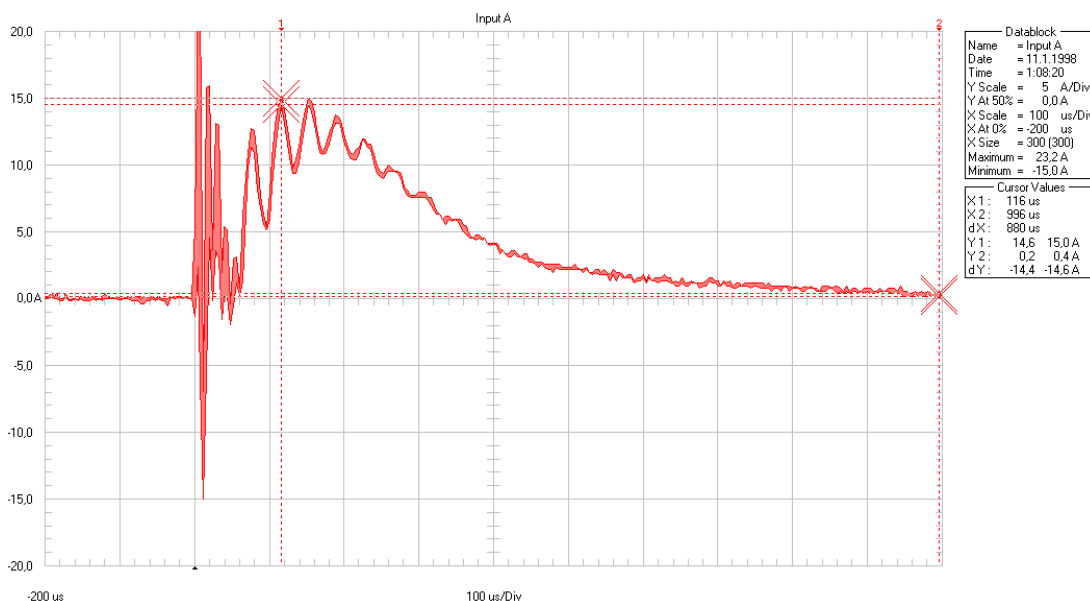
Loisteputkivalaisimen mittaustuloksista huomaa selvästi sen, että yliaallot ja kokonaisloisteho jäävät huomattavan alhaisiksi. Mittaustulosten perusteella voi päätellä, että nykyaikainen elektroninen liitäntälaitte on erittäin hyvä keksintö. Kytkevävirtamittauksesta huomataan, että ensimmäinen virtapiikki nousee noin 23 ampeerin arvoon. Kyseinen virtapiikki on todennäköisesti kytkimen aiheuttama piikki. Ensimmäinen virtapiikki menee osittain piiloon, mutta arvo näkyy kuvan vieressä olevasta laatikosta. Nollakohdan siirtäminen alemmas tai virta-arvon nostaminen olisi tuonut piikin kokonaan näkyviin, mutta sillä ei ole juuri merkitystä lampun kytkentävirtaa tutkittaessa. Varsinaisen kytkentävirrän arvo oli sen sijaan noin 15 ampeeria. Kytkentävirrän kesto-aika oli noin yksi millisekunti. Nykyaikainen loisteputkivalaisin on mielestäni ehkäpä paras vaihtoehto, mikäli valaistus tehdään uuteen taloon tai valaistus uusitaan kokonaan. Suuri haittapuoli loisteputkivalaisimen kohdalla on kuitenkin tilantarve. Lisäksi joitakin muotitietoisia henkilöitä saattaa haitata loisteputkivalaisimen muoto.

Taulukko 4. Loisteputkivalaisimen yliaallot prosentteina 6.6.2014.

	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,5 %	0,0 %	0,6 %	0,7 %	0,7%	0,9 %	0,3 %
I	6,0 %	0,2 %	4,9 %	1,4 %	1,3 %	2,4 %	0,5 %

Taulukko 5. Loisteputkivalaisimen muut mitatut arvot 6.6.2014.

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
65,1 VA	64,4 W	8,5 Var	4,3 Var	0,99	1,41	1,52	0,28 A



Kuva 1. Loisteputkivalaisimen kytkentävirta 6.6.2014.

8.4 Energiansäästölamppu

Tutkittavana lamppuna oli Emax energy saver 1414 lamppu. Lamppussa oli E27 kanta, joten se voidaan laittaa suoraan hehkulampan tilalle. Lamppu toimii 50 herzin ja 230 voltin jännitteellä sekä tuottaa yhdeksän wattia tehoa. Lampulle ilmoitettu virta-arvo oli 65 mA. Lampun hinta on noin viisi euroa.

Energiansäästölamput ovat pienisloistelamppuja ja ovat siis epälineaarisia kuormia. Energiansäästölamput tarvitsevat virranrajoittimen, joka on perinteisesti ollut kuristin. Kuristin kuitenkin huonontaa tehokerrointa, jolloin tarvitaan kompensointia. Uudet verkkojännitteen vaihtosuuntaamiseen perustuvat elektroniset liitäntälaitteet

parantavat valonlaatua sekä hyötysuhdetta, mutta aiheuttavat yliaaltoja, koska vaihtosuuntaaminen tapahtuu yli 20 kHz taajuudella. Purkaus- ja loistelampuissa vaaditaan yliaaltosuodatin, mutta pienoisloistelamppuja ei koske mikään standardi, joten ongelmia yliaaltojen suhteen voi syntyä, jos energiansäästölamppuja on paljon. (Korpinen, Mikkola, Keikko & Falck, 20.)

Taulukko 6. Energiansäästölamppun yliaallot prosentteina 6.6.2014.

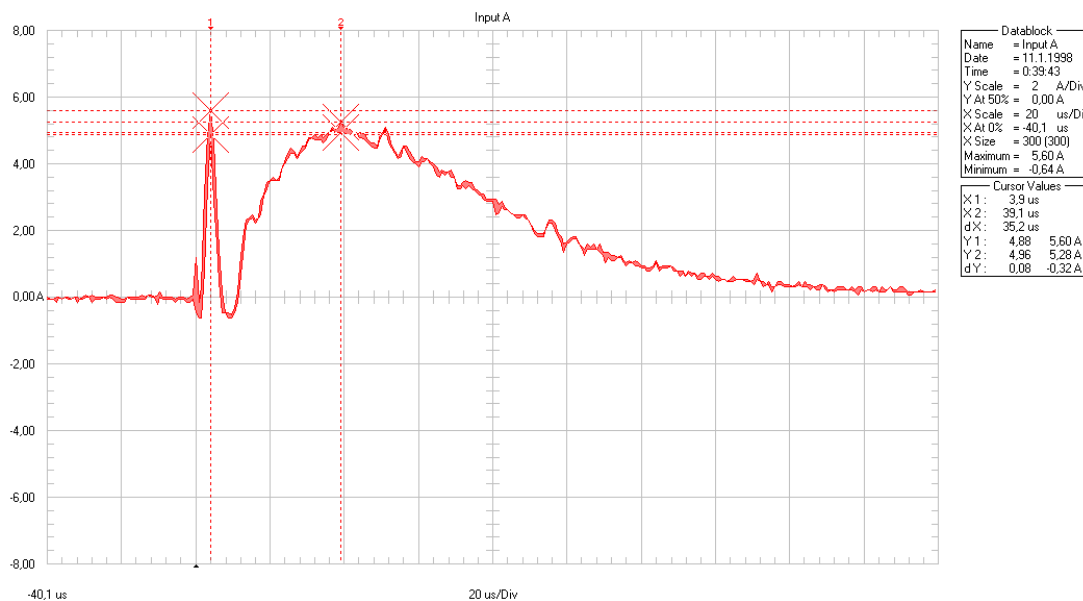
	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,5 %	0,2 %	0,5 %	0,6 %	0,7 %	0,8 %	0,4 %
I	111,5 %	0,4 %	76,5 %	48,9 %	34,1 %	26,7 %	15,6 %

Muita mitattuja arvoja on esitetty seuraavassa taulukossa. Nykyaikaisella elektronisella sytyttimelläkin varustettu energiansäästölamppu ottaa kuitenkin vielä suhteellisen paljon loistehoa, kuten taulukosta huomataan. Virran parittomat yliaallot olivat noin 15 prosentin luokkaa aina neljänteenkymmenenteen kertalukuun asti.

Taulukko 7. Energiansäästölamppun muut mitatut arvot 5.12.2013

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
14,4 VA	8,4 W	4,2 Var	10,9 Var	0,59	1,40	4,42	0,065A

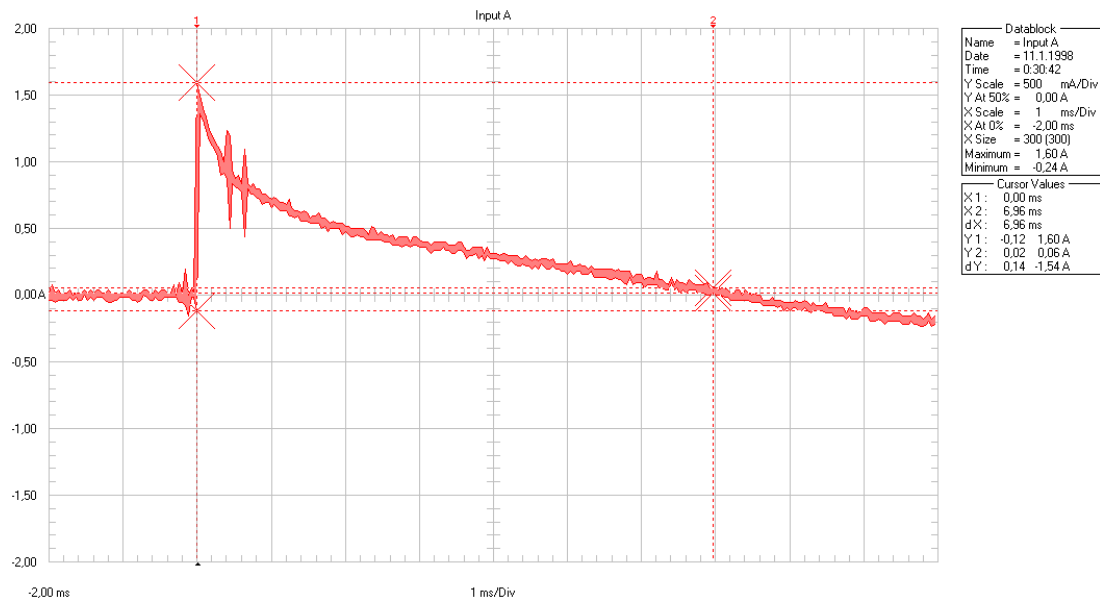
Energiansäästölampusta otettu kytkentävirtakuva osoittaa, että kytkentävirran huippuarvo olisi noin viisi ampeeria. Kytkentävirran kesto oli noin 170 mikrosekuntia. Ensimmäinen virtapiikki, jonka arvo on noin kuusi ampeeria, on todennäköisesti kytkimen aiheuttama virtapiikki.



Kuva 2. Energiansäästölamppun kytkentävirta 6.6.2014.

8.5 Verkköjännitteellä toimiva halogeenilamppu

Tutkittavana halogeenilamppuna oli Airam 28 watin verkköjännitteellä toimiva perushalogeni, joka maksaa noin kolme euroa kaupassa. Mitatuista lamputa halogeni lamppu on se, jossa ei ole mitään komponenttia, joka vaikuttaisi yliaaltoihin, loistehoon tai muihin huonoihin asioihin. Halogeenilampussa ei ole juuri muuta kuin hehkulanka ja kaasua. Tästä syystä mittauksissakaan ei havaita mitään erikoista. Ainut poikkeava asia on halogeenilampun ottama kytkentävirta, joka on selvästi pienempi kuin muilla mitatuilla lamputa. Toisaalta muut kuin halogeenilamppu tuottavat yliaaltoja, joten niillä voi olla vaikutusta siihen, että miksi muilla lamputa kytkentävirtakin oli huomattavasti suurempi käyttövirtaan nähden. Halogeenilampulla kytkentävirta oli noin 1,6 ampeeria, joka nyt kuitenkin on yli kymmenkertainen käyttövirtaan nähden. Kytkentävirrän kestoaika oli noin seitsemän millisekuntia, joka on selvästi pisin mitatuista ajoista.



Kuva 3. Verkkajännitteellä toimivan halogeenilampun kytkentävirta 6.6.2014.

Taulukko 8. Verkkajännitteellä toimivan halogeenilampun yliaallot prosentteina 6.6.2014.

	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,4 %	0,1 %	0,5 %	0,7 %	0,6 %	0,9 %	0,3 %
I	1,7 %	0,1 %	0,9 %	0,9 %	0,6 %	0,8 %	0,3 %

Taulukko 9. Verkkajännitteellä toimivan halogeenilampun muut mitatut arvot 6.6.2014.

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
27,5 VA	27,4 W	0,5 Var	2,3 Var	1	1,41	1,42	0,120 A

8.6 Alennetulla jännitteellä toimiva halogeenilamppu

Tutkittavan valaisimen merkki oli Massive ja malli pitru 00250/63/17. Hintaa paketilla, joka sisälsi valaisimen ja muuntajan, oli 30 euroa. Valaisimen kanta oli G4 ja teho oli 20 wattia sekä se toimi 12 voltin vaihtojännitteellä, jota sille tuotti valaisimen mukana tullut elektroninen muuntaja. Muuntajan merkki oli Self ja malli ET60T-2(20-60VA). Muuntajan ensiöpuolen arvot: 220-240 voltia vaihtojännitettä, 0,26 ampeeria vaihtovirtaa ja tehokerroin 0,99. Muuntajan toisiopuolen arvot: 11,6

voltia vaihtojännitettä tehollisarvona, maksimissaan 4,9 ampeeria vaihtovirtaa ja 20-60 wattia tehoa. Teho on minimissään 20 wattia ja maksimissaan 60 wattia, eli kyseisiä 20 watin valaisimia pitää olla vähintään yksi ja enintään kolme, jotta muuntaja toimisi oikein.

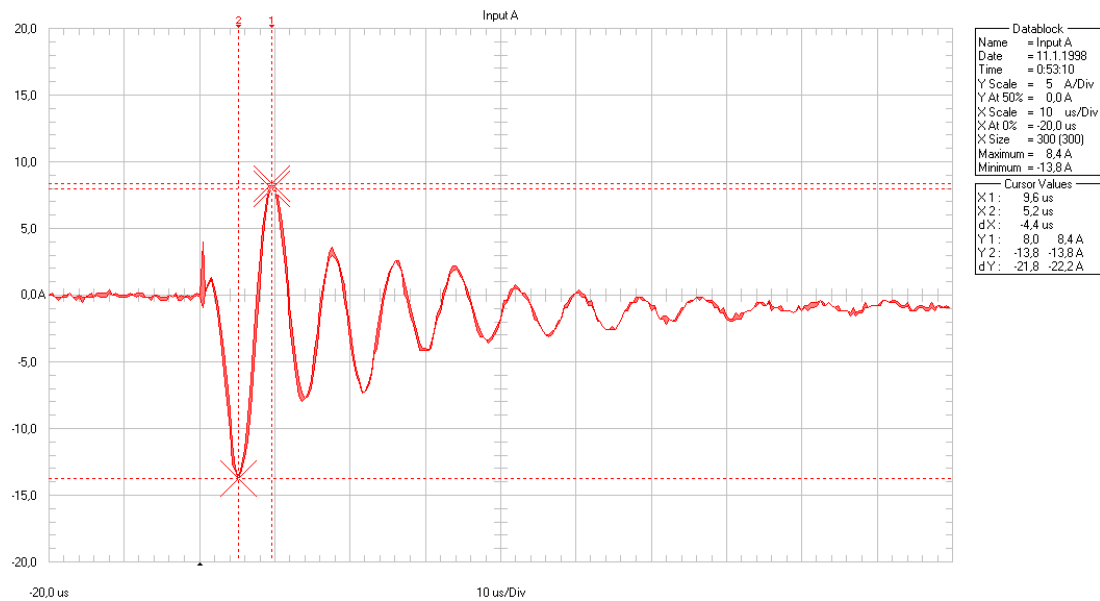
Alennetulla jännitteellä toimiva halogeenilamppu tarvitsee oman muuntajan tai virtalähteen, jolla saadaan jännite lampulle sopivaksi. On aika selvää, että lisäkomponentti aiheuttaa myös enemmän yliaalloja sekä loistehoa verrattuna verkkojännitteellä toimivaan halogeenilamppuun. Aiemmin kerroin tasasuuntaajien ja virtalähteen vaikutuksista yliaaltoihiin, tästä samasta syystä myös mittauksissa havaittiin selvää yliaallojen kasvua sekä loistehon lisääntymistä. Huomion arvoinen asia on myös se, että valaisin tuli mittausten aikana suorastaan polttavan kuumaksi. Kytkentävirran huippuarvo nousi itseisarvoltaan lähes 15 ampeeriin. Kytkentävirran kesto-aika oli noin 70 mikrosekuntia.

Taulukko 10. Alennetullajännitteellä toimivan halogeenilampun yliaallot prosentteina 6.6.2014.

	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,5 %	0,1 %	0,5 %	0,6 %	0,8 %	0,9 %	0,4 %
I	7,4 %	0,1 %	3,3 %	2,1 %	2,5 %	4,2 %	1,3 %

Taulukko 11. Alennetullajännitteellä toimivan halogeenilampun muut mitatut arvot 6.6.2014.

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
20,0 VA	19,0 W	6,0 Var	1,7 Var	0,95	1,44	1,44	0,087 A



Kuva 4. Verkköjännitteellä toimivan halogeenilampun kytkentävirta 6.6.2014.

8.7 Verkköjännitteellä toimiva led lamppu

Tutkittavana lamppuna oli BrLluxin EcoLED series G60V-E27-3-220/s -lamppu. Lamppu toimi 230 voltin vaihtojännitteellä sekä tuottaa tehoa neljä wattia. Led lamppulla säästetään energiaa, mutta led on erittäin paha loistehon- ja yliaaltojen kannalta. Led lamppujen ottama kokonaisloisteho on liki kolminkertainen tehoon verrattuna, joten tehokerroin jää erittäin alhaiseksi. Led lampun haittavaikutukset johtuvat lähinnä siitä, että se on jo itsessään diodi, joita käytetään tasasuuntajissa ja virtalähteissä, joista kyseiset haittavakutukset ilmaantuvat. Aiemmin kerroin tietokoneen, nimenomaan tietokoneen virtalähteen, aiheuttamista ongelmista sähköverkkoon. Samoin led aiheuttaa yliaalloja sähköverkkoon ja kuluttaa loistehoa, mutta sen aiheuttamat haitat ovat selvästi pienemmät. Pitää kuitenkin huomioida, että lamppuja on yleensä monta, jopa kymmeniä yhdessä taloudessa, mikäli kaikki lamput korvataan ledeillä. Talouksissa, joissa kaikki lamput on korvattu ledeillä, saattaa niiden teho nousta lähelle yhden tietokoneen tehoa ja näin yliaaltolähteitä on jo huomattava määrä. Yliaallot ja loisteho lisääntyvät tuntuvasti led lamppujen myötä, ja kun tähän otetaan huomioon vielä tietokoneet sekä muu viihde-elektroniikka, niin häiriöt moninkertaistuvat. Virran parittomat yliaallot jatkuiva noin 60-50 prosentoin suuruisina aina neljänteenkymmenenteen kertalukuun asti.

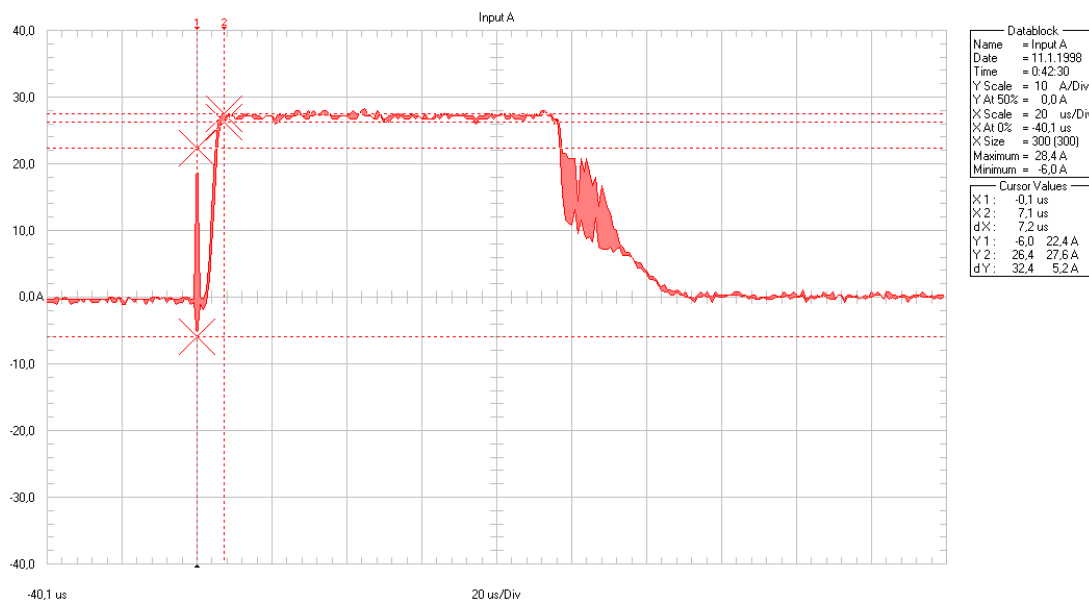
Kytkevännirran suurin arvo oli reilut 28 ampeeria. Kytkevännirran kestoaika puolestaan oli noin 120 mikrosekuntia. Kytkevännirran käyrämuoto oli hieman outo, ja myös kytkevännirran arvo oli epäilyttävän suuri.

Taulukko 12. Verkköjännitteellä toimivan led lampun yliaallot prosentteina 6.6.2014.

	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,4 %	0,1 %	0,5 %	0,7 %	0,7 %	0,8 %	0,4 %
I	261,0 %	1,7 %	90,5 %	86,9 %	82,3 %	76,5 %	70,2 %

Taulukko 13. Verkköjännitteellä toimivan led lampun muut mitatut arvot 6.6.2014

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
10 VA	3,5 W	0,5 Var	9,4 Var	0,35	1,40	7,76	0,042 A



Kuva 5. Verkköjännitteellä toimivan led lampun kytkevännirta 6.6.2014

8.8 Alennetulla jännitteellä toimiva led lamppu

Tutkittavana valaisimena oli KST -Led valo, jonka malli oli UC 60.4020. Hintaa pelkälle valaisimelle kertyi 20 euroa. Valaisin oli upotettavaa mallia, joten sillä ei ole mitään standardoitua kantaa, vaan valaisin sisältää 24 pientä lediä. Valaisimen teho oli 1,8 wattia ja se toimi 12 voltin tasajännitteellä. Tasajännitettä valaisimelle tuotti KST -Led muuntaja, joka on oikeastaan virtalähde, kuten pakkauksen mukana tullessa englannin kielisessä ohjelapussakin mainitaan. Virtalähteen malli: ED-

A0115, tulojännite: 220-240 volttia vaihtojännitettä, maksimi ulostulo: 12 volttia tasajännitettä, 1,25 ampeeria ja teho 15 wattia. Muuntaja myytiin erikseen hintaan 27 euroa.

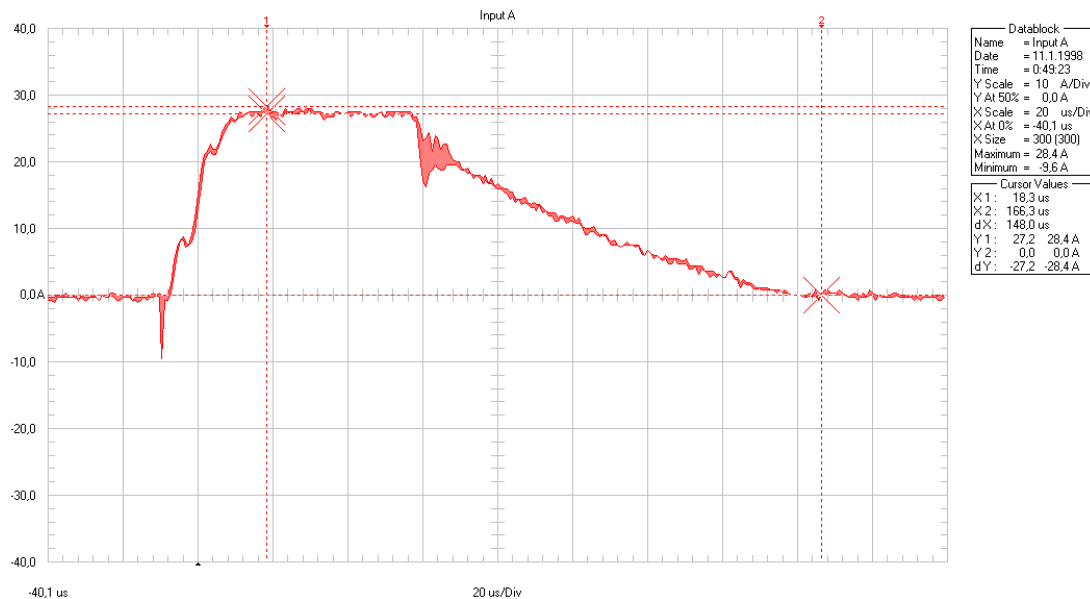
Samat haitat koskevat myös alennetulla jännitteellä toimivaa led lamppua kuin verkkojännitteelläkin toimivaa led lamppua. Yliaallot ja loisteho ovat sekä ledien että energiansäästölamppujen ongelma. Alennetulla jännitteellä toimiva led lamppu, aivan kuten 12 voltin halogeenilamppukin, tarvitsee oman muuntajan tai virtalähteen, jolla saadaan jännite lampulle sopivaksi. Tulokset ovat tosin hieman yllättävät, sillä yliaaltopitoisuudet ovat pienemmät kuin verkkojännitteellä toimivalla led lampulla. Lisäkomponentti siis aiheuttaa vähemmän yliaaltoja, mutta suhteessa saman verran loistehoa verrattuna verkkojännitteellä toimivaan led lamppuun. Pitää kuitenkin muistaa, että alennetullajännitteellä toimivan valaisimen ilmoitettu teho on alle puolet verkkojännitteellä toimivan lampun tehosta. Virran parittomat yliaallot jatkuivat noin 50-40 prosentin suuruisina aina neljänteenkymmenenteen kertalukuun asti. Kytkevävirran suurin arvo kohoaa hieman yli 28 ampeerin. Kytkevävirran kesto-aika on noin 170 mikrosekuntia. Kytkevävirran käyrämuoto oli hieman outo, ja myös kytkevävirran arvo oli epäilyttävän suuri.

Taulukko 14. Alennetullajännitteellä toimivan led lampun yliaallot prosentteina 6.6.2014.

	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,5 %	0,1 %	0,3 %	0,7 %	0,7 %	0,9 %	0,3 %
I	195,2 %	1,5 %	78,7 %	74,4 %	67,7 %	60,0 %	56,4 %

Taulukko 15. Alennetullajännitteellä toimivan led lampun muut mitatut arvot 6.6.2014

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
8,2 VA	2,7 W	2,1Var	7,5 Var	0,36	1,41	6,8	0,036 A



Kuva 6. Alennetullajännitteellä toimivan led lampun kytkentävirta 6.6.2014.

8.9 Säädettävän valaisin

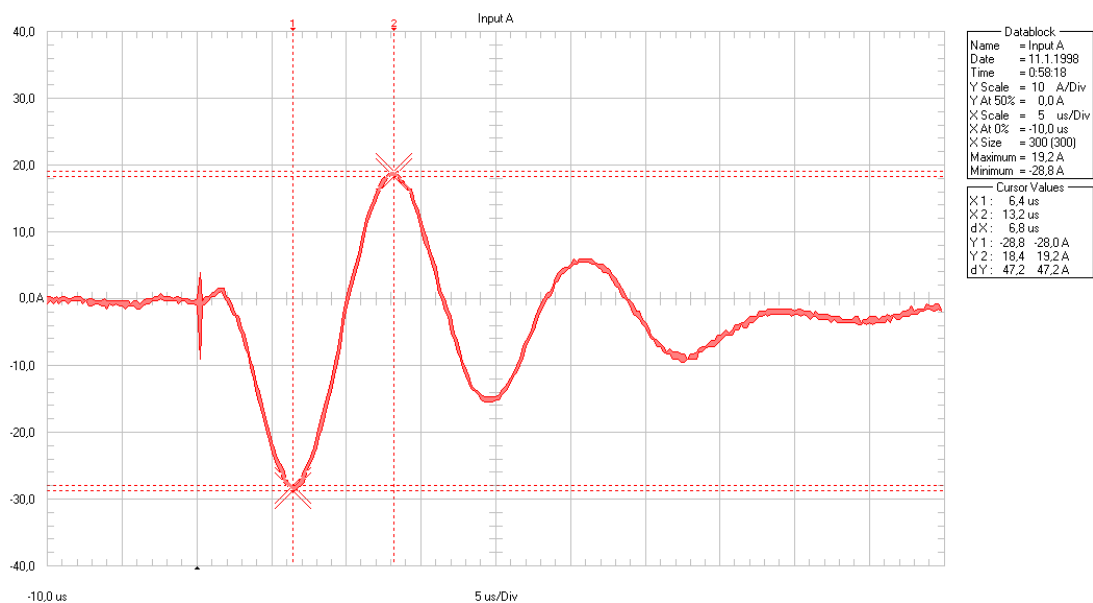
Säädettävänä valaisimena mittauksissa käytettiin valaisinta, jonka merkki oli Aneta ja malli Abisko. Hintaa tällä valaisimella oli 22 euroa. Valaisimessa oli himmennin ja 50 watin halogeenilamppu GU 5.3 kannalla, joka toimi 12 voltilla. Himmentimen maksimi teho on 50 wattia. Virtalähteestä tai muuntajasta ei tietoja ilmoiteta. Säädettävän valaisimen osalta tulokset ovat yllättävänkin positiivisia. Yliaallojen ja loistehon vähäisyydet selittyvät osaksi sillä, että lamppuna oli halogeeni. Tilanne olisi varmasti merkittävästi erilainen, jos halogeenin tilalla olisi ollut esimerkiksi led lamppu. Valaisin sisältää suhteellisen paljon elektronikkaa, joka tunnetusti aiheuttaa esimerkiksi yliaalloja. Himmentimen vaikutus näkyy kyllä tuloksissa kohtuullisen selvästi, jos niitä verrataan tavalliseen verkkojännitteellä toimivaan halogeeniin. Virran parittomat yliaallot laskivat kohtuullisen tasaisesti aina noin kahdenteenkymmenenteen kertalukuun asti, jonka jälkeen ne olivat lähes olemattoman pieniä. Kytkentävirran suurin itseisarvo käy lähes 29 ampeerissa. Kytkentävirran kestoaika on noin 50 mikrosekuntia, joka on selvästi lyhin kaikista.

Taulukko 16. Säädettävän valaisimen yliaallot prosentteina 6.6.2014.

	THDf	2.	3.	5.	7.	9.	11.
U	1,5%	0,0%	0,6%	0,7%	0,8%	0,9%	0,3%
I	15,6%	0,1%	9,1%	7,6%	6,7%	2,9%	3,5%

Taulukko 17. Säädettävän valaisimen muut mitatut arvot 6.6.2014

S	P	Qc	D	PF	CFu	CFi	I
45,2 VA	44,6 W	6,9 Var	6,9Var	0,98	1,40	1,46	0,197 A



Kuva 7. Säädettävän valaisimen kytkentävirta 6.6.2014.

9 YHTEENVETO

Loistelamput tuottavat yliaaltoja sähköverkkoon, etenkin energiansäästölamppu, ja lisäksi myös kuluttavat hieman loistehoa, jonka määrä riippuu valaisintyypistä. Mittaamani energiansäästölamppu ylitti useita raja-arvoja EN 61000-3-2 standardista. Energiansäästölamppu ylitti kaikki raja-arvot taulukosta kolme. Loistelampuilla kuitenkin säästetään energiaa, jos sillä korvataan hehku- tai halogeenilamput. Nykyaikaisella elektronisella liitäntälaitteella varustettu

loisteputkivalaisin ei harmeja juurikaan aiheuta jakeluverkkoon, koska liitäntälaitte sisältää suodattimet ja kompensoinnin itsessään. Halogeenilamput kuluttavat selvästi eniten energiaa, mutta eivät aiheuta juurikaan yliaaltoja tai loistehoa. Pienjännitehalogeenilamput, jotka tarvitsevat oman muuntajan, aiheuttavat hieman enemmän harmia sähköverkkoon kuin verkkojännitteellä toimivat halogeenilamput. Tämä ei johdu lampusta itsestään, vaan muuntajasta, joka aiheuttaa kyseiset ongelmat. Led lamput säästävät eniten energiaa, mutta ovat ehkäpä pahimpia jakeluverkkoon haittaa tekeviä lamppuja, jos katsotaan loistehon ja yliaaltojen yhteisvaikutusta. Lisäksi led lamput korvattussa valaistuksessa kuluttaja saattaa joutua miettimään kompensointilaitteiston ostoa, mikäli loistehomaksu nousee korkeaksi. Led lamppujen selvästi korkeampi hinta on myös huono asia. Kumpikin mittaukseni led lamput ylitti useita raja-arvoja EN 61000-3-2 standardista. Led lamput ylittivät kaikki raja-arvot taulukosta kolme. Lisäksi verkkojännitteellä toimiva led lamput ylitti komannelle ja viidennelle yliaallolle erikseen asetetut raja-arvot. Alennetulla jännitteellä toimiva led lamput ylitti viidennelle yliaallolle erikseen asetetun raja-arvon. Käytössäni ollut säädettävä valaisin oli, jakeluverkkoa ajatellen, kohtuullisen hyvä. Kyseinen valaisin ei aiheuttanut kovinkaan paljon haittoja jakeluverkkoon. On kuitenkin muistettava, että käytössäni olleessa säädettävässä valaisimessa oli halogeenilamppu, joka ei itsessään aiheuta juurikaan harmeja jakeluverkkoon. Valintojen maailma pätee tässäkin, eli energia- ja jakeluverkkoa säästävää lamppua näistä vaihtoehdoista ei välttämättä löydy samasta paketista. Mielestäni paras vaihtoehto on nykyaikaisella elektronisella sytyttimellä varustettu loisteputkivalaisin, mutta sillä ei varmastikaan korvata hehkulamppuja.

On mielenkiintoista nähdä, että mitä tulee tapahtumaan, koska yliaallot ja loisteho tulevat lisääntymään jokatapauksessa. Vaikka nykyajan laitteet säästävätkin energiaa vanhoihin verrattuna, esimerkiksi juuri lamput, niin energiansäästö tuo mukanaan yliaallot ja loistehon. On vaikeaa alkaa pohtia sitä, että kumpi vaihtoehdoista on vähemmän pahempi. Hehkulamput ja halogeenilamput kustannukset näkyvät suoraan heti sähkölaskussa, mutta energiansäästölampujen ja led lamppujen yleistyttyä niiden aiheuttamat haitat voivat johtaa tulevaisuudessa sähkön hinnan korotuksiin tai kompensointiin ja suodatuksiin kotitalouksissa.

Investoinnit nousevat melko korkeiksi, jos lamppujen sekä viihde-elektroniikan aiheuttamia haittoja alettaisiin kompensoida ja suodattaa. On kuitenkin huomioitava se asia, että kotitalouksien aiheuttamaa loistehoa on alettu jo kompensoida sekä yliaalloja suodattaa. Loistehon kompensointi on aina kuitenkin sähkökuluttajan oma valinta, mutta yliaallojen torjunta on verkkoyhtiön vastuulla. Sähköyhtiöiden kannalta led ja energiansäästölamppujen lisääntyminen saattaa merkitä sitä, että jakeluverkkoa on muokattava, koska loisteho ja yliaallot lisääntyvät. Aiemmin mainitsemani tulevaisuuden sähkön hinnan korotus johtuu juuri siitä, että sähköverkkoa on alettava kompensoida ja suodattaa. Esimerkiksi muuntajien kuormitus muuttuu ja jännitepiikit tuottavat enemmän harmia kuin ennen, jonka seurauksena on ehkä ryhdyttävä toimenpiteisiin, jotka kuluttaja tietenkin maksaa. Tulevaisuus ja ennen kaikkea lainsäädäntö ja standardit sekä EU näyttävät tässäkin asiassa mitä tulee tapahtumaan.

Aiemmin totesin, että mittaustulosten tarkkuus on otettava huomioon, joten tuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina. Oikeastaan mittaustulokset ovat muilta osin kohtalaisia, mutta kytkentävirtamittaus on selvästi mittauksista herkin, koska kytkimen toiminta ja muut häiriötekijät saattavat häiritä liipaisua, etenkin elektroniikkaa sisältävillä lampuilla, jolloin saadaan liian suuria arvoja. Valaisimista kolme ylitti standardin asettamia raja-arvoja. Teorian pohjalta mittaukset antoivat suunnilleen sellaisia lukemia kuin pitikin. Yliaallot ja loistehot olivat merkittävimmissä roolissa, koska niiden aiheuttajat ovat digitalisoituneen maailman tulevaisuus vai ovatko?

LÄHTEET

Adluxin www-sivut. 2014. Viitattu 7.6.2014. www.adlux.fi

Harmonic current emissions. Guidelines to the standard EN 61000-3-2. 2010. European power supply manufacturers association. Viitattu 28.4.2014. [www.epsma.org/pdf/PFC Guide_November 2010.pdf](http://www.epsma.org/pdf/PFC_Guide_November_2010.pdf)

Honkanen, H. Valaistustekniikka. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Viitattu 30.4.2014. http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf

Korpinen, L. Mikkola, M., Keikko, T., Falck, E. Yliaalto-opus. Viitattu 30.4.2014. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>

Lampputiedon www-sivut. 2014. Viitattu 30.04.2014. www.lampputieto.fi

Loistehon kompensointi. 2012. Tampereen sähkölaitos sähköverkko Oy. Viitattu 1.5.2014. https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittyminen/TSV-urakoitsijalle/Documents/Loistehon%20hinnoittelu-%20ja%20kompensointiohje%20TSV_01-12-2012_internet.pdf

Sähkön laatu. 2006. Sähköinfo Oy. Viitattu 6.6.2014. [http://severi.sahkoinfo.fi.lillukka.samk.fi/item/2262?search=sfs+50160](http://severi.sahkoinfo.fi/lillukka.samk.fi/item/2262?search=sfs+50160)

Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut. 2014. Viitattu 25.4.2014. www.stek.fi